

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 50

Artikel: Baugrubenabschluss als bleibender Teil eines Bauwerkes
Autor: Gruner, Georg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69610>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Von Georg Gruner, dipl. Ing. ETH, Basel

1. Allgemeines

Die Erstellung der tiefen Baugruben, die in den engen Innerstädten meist nahe an die Nachbargebäude heranreichen, hat die Ingenieure veranlasst, neuartige Methoden zur Umschliessung und Sicherung der Baugruben zu entwickeln. Da diese oft umfangreichen und teuren Bauwerke eigentlich nur während der Bauzeit eine Rolle spielen, stellt sich für den projektierenden Ingenieur immer wieder die Frage, in welchem Ausmass diese Baugrubenumschliessungen als Bestandteil des definitiven Bauwerkes Verwendung finden können, damit die grossen, in diesen Wänden investierten Kosten aktiviert und die Bau- termine entsprechend verkürzt werden können.

Das Kriterium, ob und wie weit die Baugrubenumschliessung definitiv eingebaut werden kann, welche Baumethode anzuwenden sei und aus welchem Baumaterial die Umschliessungswand ausgeführt werden soll, hängt von verschiedenen Umständen ab. Das Hauptkriterium bildet die geologische und geotechnische Beschaffenheit des Untergrundes sowie die Lage, Tiefe und Ergiebigkeit des Grundwassers. Neben den technischen und wirtschaftlichen Überlegungen muss auf die nähere und weitere Umgebung der Baustelle in weitem Ausmass Rücksicht genommen werden. Der Verkehr soll höchstens kurzfristig unterbrochen werden müssen. Zugänge zu Nachbarliegenschaften sind ständig offen zu halten. Es sind Methoden zu bevorzugen, die durch Lärm, Staub, Erschütterungen und andere unzulässige Eingriffe die Umgebung möglichst wenig belästigen.

Bei der Auswahl der Baumethoden spielt ausser diesen technischen Gegebenheiten aber auch das Instrumentarium, das dem einzelnen Unternehmer zur Verfügung steht, eine wichtige Rolle. Man soll deshalb bei der Ausschreibung von Baugrubenumschliessungen in erster Linie das Prinzip festlegen und vorschreiben, ob die Baugrubenumschliessung als Teil des zu

erstellenden Bauwerkes betrachtet werden muss oder lediglich als Aussenhaut einer Baugrube, in welche dann das endgültige Bauwerk hineingestellt wird. Es ist zu empfehlen, dass der projektierende Ingenieur eine Baumethode als Ausschreibungslösung vorschreibt, die von möglichst vielen Unternehmern ausgeführt werden kann, dass er aber auf jeden Fall dem Unternehmer die Möglichkeit offen lässt, Varianten zu offerieren. Die Erfahrungen, die ich mit solchen Ausschreibungen in den letzten Jahren gemacht habe, haben gezeigt, dass die Offerten für solche Baugrubenumschliessungen je nach der Methode bis zu 50 % variieren können. Es liegt dann am projektierenden Ingenieur, abzuwägen, ob die billigste Methode auch die zweckmässigste ist, oder ob durch Anwendung der billigsten Methode unter Umständen die Konstruktion des Bauwerkes bei Einbezug der Baugrubenumschliessung so beeinflusst wird, dass summa summarum der Bau teurer wird, als wenn man eine teurere Methode angewendet hätte.

2. Baugrubenabschlüsse als Teil eines Bauwerkes

Der Einbezug der Baugrubenumschliessung in das Gebäude ist nichts Neues. Es war auch schon in früheren Jahrhunderten üblich, die Kellermauern direkt gegen den Baugrund zu mauern und damit eine Kombination zwischen Baugrubenumschliessung und Gebäudeumwandlung zu erzeugen. Da diese Baugruben meist nur geringe Tiefen hatten, spielten die Erddruckprobleme nur eine untergeordnete Rolle. Waren die Verhältnisse schwieriger, so verzichtete man meist auf teure Kellerkonstruktionen. Es ist interessant, dass man es zum Beispiel noch beim Wiederaufbau von Lissabon in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts nach dem grossen Erdbeben nicht wagte, die Häuser zu unterkellern, weil man sonst ins Grundwasser gekommen wäre. Auch im Eisenbahnbau wurde es als selbstverständlich betrachtet, Stützmauern und Tunnelmauerwerk direkt gegen das Terrain satt anzumauern, wobei schon die damalige Ingenieurgeneration verstan-

Bild 1. Unterfangung des hinteren Gebädeflügels des Geschäftshauses Storch in Basel

- 1 Unterfangungen
- 2 Auflager, Magerbeton PC 100
- 3 Abteufen (Spriessung)
- 4 Einzelfundamente ausgraben und betonieren
- 5 Stützen betonieren
- 6 Deckenkonstruktion
- 7 Unterfangungen etappenweise bis auf Kote der Fundamente

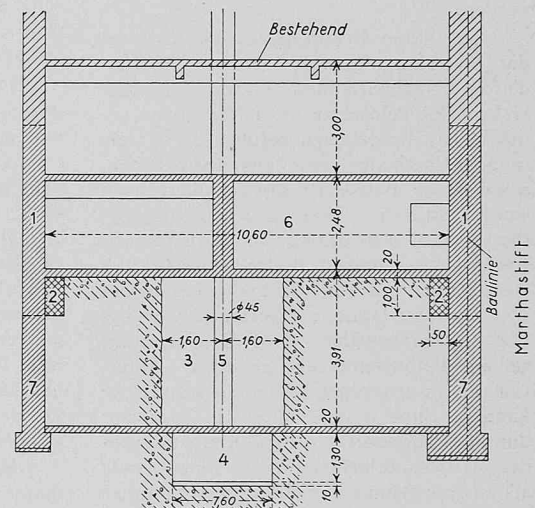


Bild 2. Unterfangungselement bei der Parkgarage Elisabethenschanze in Basel

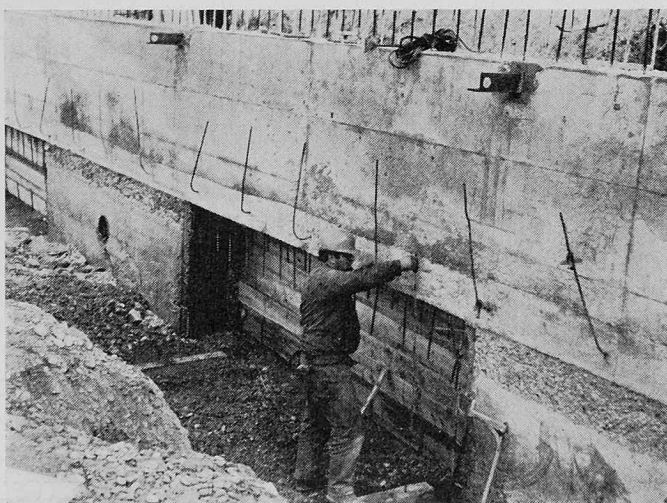


Bild 3. Nach der Unterfangungsmethode erstellte Baugrube der Parkgarage Elisabethenschanze in Basel. Die einzelnen Elemente sind mit Kiesankern zurückverankert



den hat, im Bedarfsfalle den dahinterliegenden Baugrund sachgemäss zu entwässern.

Seit der Entwicklung des Wasserbaues im Zusammenhang mit der Erstellung der grossen Wasserkraft- und Schifffahrtsanlagen haben die Walzwerke stählerne Spundwände auf den Markt gebracht, die es ermöglichen, Baugrubenabschlüsse mit weitgehender Wasserdichtigkeit und grosser Festigkeit zu erstellen. Diese Baugrubenabschlüsse wurden teils im Untergrund eingespannt, teils durch Spriessen gehalten oder in das dahinterliegende Terrain zurückverankert. Diese eisernen Spundwände werden hauptsächlich als abdichtende Aussenhaut verwendet. Bei definitiver Verwendung sind sie sorgfältig mit dem Boden der Aussenwand des Bauwerkes zu verbinden. Sie können aber auch lediglich als Schalung Verwendung finden und nachher wieder herausgezogen werden. Es gibt im Wasserbau viele Beispiele, wo diese Stahlspundwände als Quaimauern oder wasserdichte Abschlüsse aller Art festen Bestandteil des Bauwerkes bilden. Das nur mit grosser Lärmerzeugung mögliche Einrammen der eisernen Spundwände musste unter Berücksichtigung der berechtigten Lärmbekämpfungsmassnahmen in städtischen Gebieten in der neuesten Zeit weitgehend durch andere Methoden ersetzt werden.

Die guten Erfahrungen, die man bei der Unterfangung von weniger tief fundierten Nachbarbauten mittels einzelner kleiner Betonelemente im Stadtzentrum gemacht hat, haben dazu geführt, die Unterfangungsmethode auch dann anzuwenden, wenn keine Bauwerke direkt unterfangen werden müssen. Diese Unterfangungsmethode hat sich in den für Basel charakteristischen kiessandigen Böden ohne Grundwasser oder mit einer Grundwasserschicht von niedriger Höhe und geringer Ergiebigkeit bestens bewährt. Wird diese aus einzelnen Betonelementen gebildete Unterfangung im trockenen Boden ausgeführt, so kann sie ohne weiteres direkt als Umwandung des vorgesehenen Baukörpers verwendet werden. Selbst wenn die Betonwände als äussere Wanne dienen, können sie unter Umständen zur Uebertragung der vertikalen Gebäudelasten verwendet werden. Auf

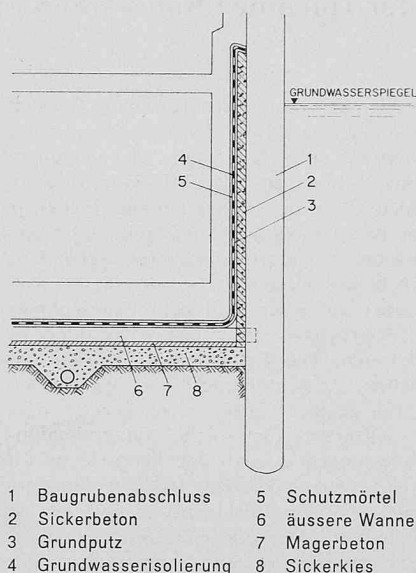


Bild 6. Ausbildung der Schlitzwandumschliessung bei hohem Grundwasserstand

diese Weise hat man schon ganze Gebäudekörper nach der Unterfangungsmethode wie beim hintern Gebäudeflügel des Geschäftshauses Storch in Basel (Bild 1) eigentlich von oben nach unten in die Schotterterrassen hineingebaut.

Die Unterfangungsmethode hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht. Ursprünglich hat man relativ kleine Unterfangungselemente erstellt. Heute kommen auch grössere Elemente zur Anwendung. Die Ausführung der Unterfangung erfolgt zweckmässigerweise schachbrettartig. Es ist wichtig, dass der Ingenieur die Ausführung der Unterfangung dem Unternehmer genau vorschreibt, da er als Projektverfasser in erster Linie die Verantwortung für die Richtigkeit der vorgeschriebenen Methode trägt, während der Unternehmer lediglich für die sachgemässe Ausführung haftet.

Bei der Erstellung der Tiefgaragen hinter den beiden seitlichen Widerlagern des Heuwaageviaduktes (Bild 2) kommt die Unterfangungsmethode in ihrer modernsten

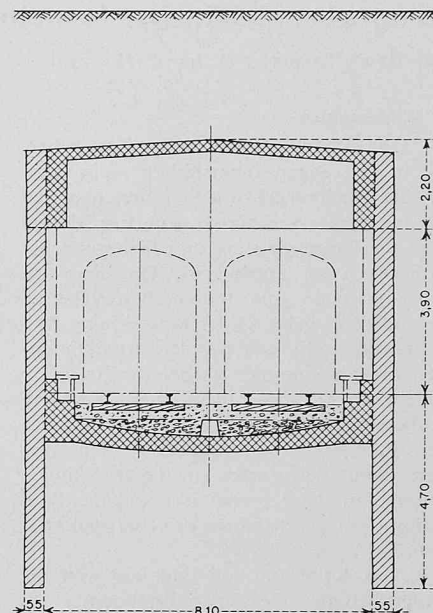


Bild 7. U-Bahn Mailand: Tunnelquerschnitt mit Pfahlwand als Seitenabschluss

Form zur Anwendung. Die einzelnen Elemente haben eine Höhe von 1,30 m und eine Länge von 5 m. Sie sind mittels Kiesankern im umschliessenden Gelände zurückverankert. Die Grösse dieser Elemente hat es ermöglicht, eine saubere Umschliessungsmauer der Baugrube zu erzeugen, die als tragendes Element direkt in den Baukörper einbezogen werden kann (Bild 3). In ihrem unteren Teil dient sie als Aussenhaut zur Aufnahme der Isolationswanne gegen das Grundwasser.

Bei regelmässigen Grundrissflächen in einfachen geometrischen Formen wird meistens wieder mehr die Senkkastenmethode angewendet. Diese besteht darin, dass die Umfassungsmauern des unter dem Boden liegenden Baukörpers etappenweise in Höhen von wenigen Metern entweder auf der Terrainoberfläche oder unter derselben auf dem Niveau des Grundwasserspiegels betoniert werden. Der dadurch entstehende Senkkasten wird entweder in offener Bauweise bei atmosphärischem Druck oder unter Anwendung des Druckluftverfahrens

Bild 4. Senkkasten der Rohwasserpumpstation des Wasserwerkes an der Grenzacherstrasse in Basel

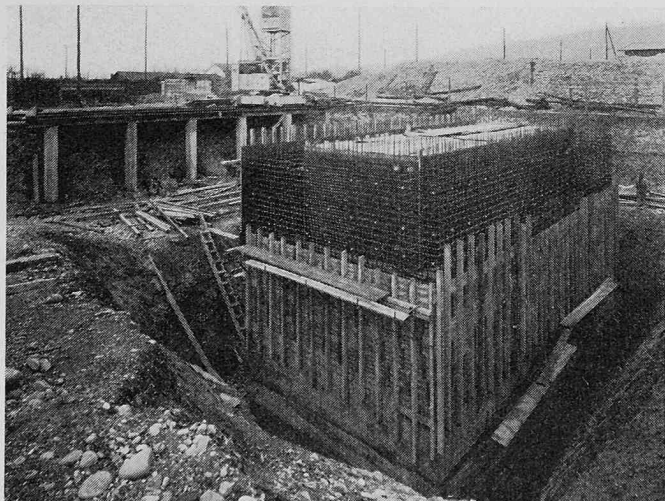
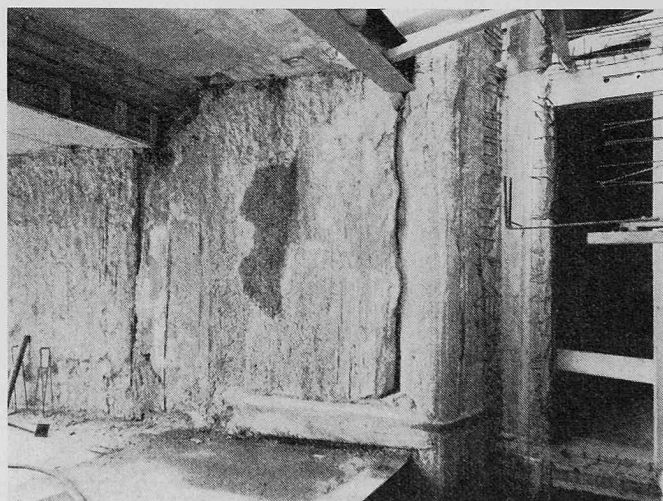


Bild 5. Auflagerung einer Deckenkonstruktion auf einer Schlitzwand



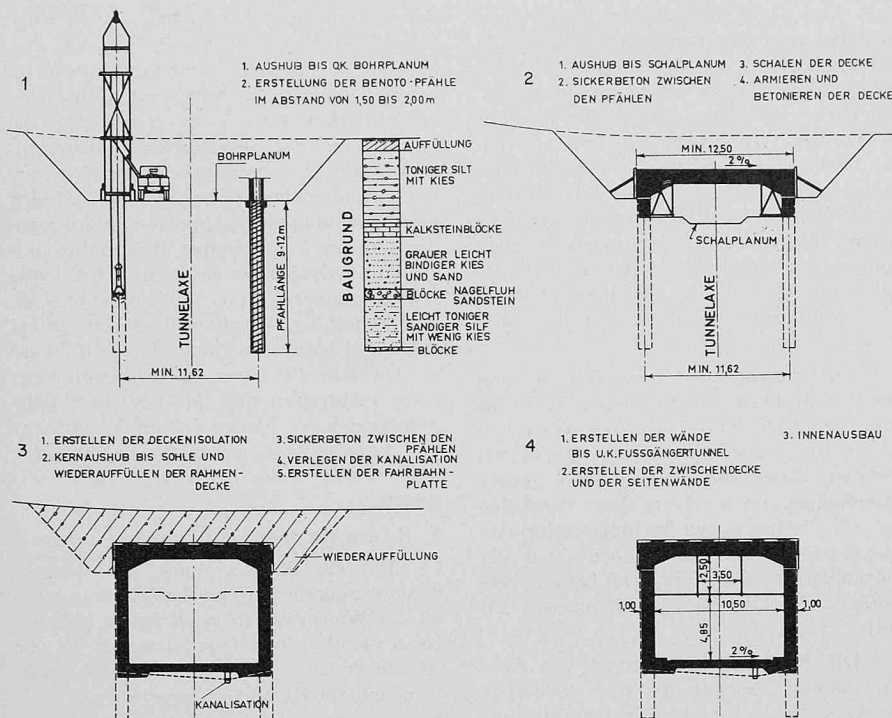


Bild 8. Ulmbergtunnel Zürich: Ausführung der Pfahlwand System Benoto

abgesenkt. Diese Senkkasten bilden immer Bestandteil des endgültigen Bauwerkes. Während sie ursprünglich meist nur für Brunnen und Pfeilerfundationen von beschränkter Grundrissfläche zur Anwendung kamen, werden sie neuerdings auch für grossflächige Bauwerke mit Erfolg eingesetzt wie zum Beispiel für das Pumpengebäude des Wasserwerkes Basel an der Grenzachstrasse (Bild 4) oder bei der unterirdischen Grossgarage «Rive Centre» in Genf, wo ein kreisrunder Senkkasten von 57 m Durchmesser auf 28 m Tiefe abgesenkt wurde (s. «Schweiz. Bauzeitung» 1961, H. 28, S. 491).

Die Entdeckung der thixotropen Flüssigkeiten, wie zum Beispiel der Bentonitschlämme, ermöglicht, den Aushub von Schächten mit beschränktem kreisrundem oder rechteckigem Grundriss in losem Material in grosse Tiefen abzuteufen, ohne dass die Schachtwandungen zusätzlich ver-

kleidet werden müssen, da der Druck der im Schacht stehenden Flüssigkeit genügt, um die Standfestigkeit der Schachtwandungen bis zum Einbringen des Betons zu erhalten.

Als erstes wurde die Bohrpfahlwand entwickelt. Diese besteht darin, dass entlang des Baugrubenrandes eine geschlossene Reihe kreisrunder Bohrpfähle in den Boden abgeteuft wird. Es ist möglich, derartige Pfahlreihen mit ziemlich grosser Genauigkeit einzubringen, so dass sie nach Aufbringen einer Betonausgleichsschicht als Teil der äusseren Umwandung eines Bauwerkes verwendet werden können (Bild 5).

Im Bestreben, anstelle der aneinander gereihten Zylinderflächen ebene Flächen, die sich den Bauwerken besser anpassen, nach dem Bentonitsystem herzustellen, sind Werkzeuge entwickelt worden, mit denen rechteckige Wandstücke von mehreren Metern Länge nach diesem Verfah-

ren abgeteuft werden können, die aneinander gereiht eine geschlossene Umfassungsmauer ergeben.

Da diese nach dem Bentonitverfahren erstellten Baugrubenumschliessungen sowohl als Pfahlwand wie als Schlitzwand eine nur beschränkt ebene Oberfläche aufweisen, müssen sie praktisch immer durch Nacharbeiten und Vorbetonieren einer dünnen Betonschicht für das definitive Bauwerk verwendbar gemacht werden. Es genügt dabei aber, die Unebenheiten durch eine dünne Beton- oder Mörtelschicht auszugleichen, während die statische Funktion von der Umschliessungswand aufgenommen werden kann. Bei hohem Grundwasserstand ist es empfehlenswert, die Vorbetonierung als Drainageschicht aus Kiesbeton auszubilden (Bild 6), da diese Wände nie absolut wasserdicht sind und bei mangelnder Drainage die Aufbringung der Grundwasserisolation sehr erschwert wird.

Zum erstenmal wurden Pfahlwände bei unterirdischen Verkehrsanlagen in grösserem Ausmass zur Erstellung der Untergrundbahn in Mailand (Bild 7) verwendet. Es wurde dort von der mit der Ausführung betrauten Firma äusserst sorgfältig studiert, wie in dieser verkehrsreichen Stadt der Tunnel für die Untergrundbahn erstellt werden könnte, ohne den Verkehr zum Erlahmen zu bringen.

Beim Ulmbergtunnel in Zürich (Bild 8), der einen Teil des städtischen Autostrassensystems bildet, wurde das Pfahlwandensystem Benoto mit Erfolg verwendet. Aufbauend auf den Erfahrungen in der Stadt Mailand sind diese Bauelemente als Schlitzwände bei den meisten neuen Untergrundbahnen zum Einsatz gekommen (Bilder 9 und 10). Sie können sowohl für die Streckenabschnitte als auch für die Stationen zur Anwendung gelangen. Als Beispiel seien die Tiefbahn in Wien und das grosse unterirdische Verkehrsbauwerk unter dem Stachus in München erwähnt. Bei allen diesen Bauwerken bildet die Schlitzwand oder die Bohrpfahlwand ein massgebendes Element des endgültigen Bauwerkes.

Die verschiedenen Elemente, die heute dem Bauingenieur für die Erstellung von Baugrubenumschliessungen zur Verfügung

Bild 9. Baugrube Flössergasse in Zürich: Pfahlwandumschliessung in zwei Ebenen verankert

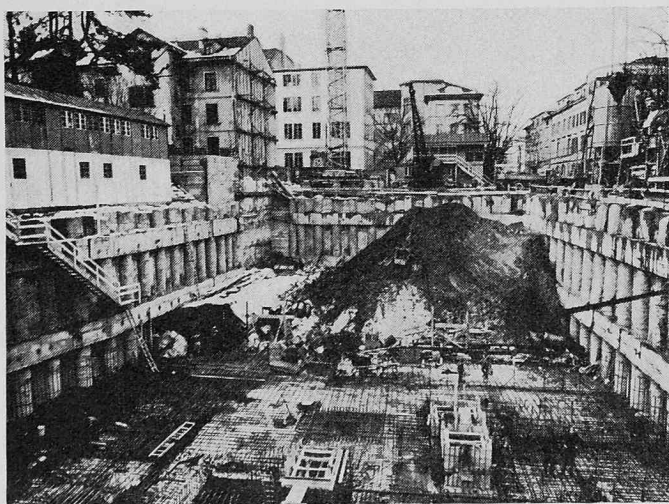


Bild 10: Tiefbahn Wien: Tunnel mit seitlichen Schlitzwänden



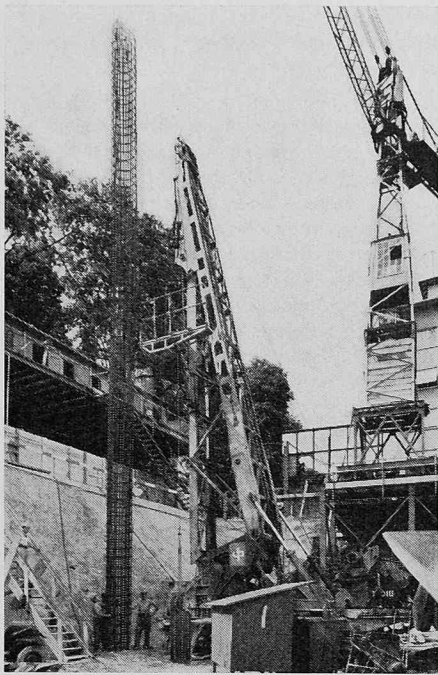


Bild 12. Neubau der TT-Direktion an der Wallstrasse in Basel: Armierung eines Pfahles der aufgelösten Pfahlwand

Bilder 2 bis 5, 12 und 13 Photos Höflinger, Basel

Bild 11 Photo Gerd Pinsker, Riehen

stehen, wie runde Pfähle, Wandelemente und dergleichen, ermöglichen auch Kombinationen der einzelnen Systeme. Es sei hier der Vollständigkeit halber noch eine Kombination zwischen Rühlwand, Pfahlwand und Unterfangungsmethode erwähnt, die sogenannte aufgelöste Pfahlwand, wie sie zum Beispiel beim Neubau der Telephondirektion an der Wallstrasse in Basel zur Anwendung gekommen ist (Bild 11). Dort wurden Pfähle von 90 cm Durchmesser in einem Abstand von 2,50 bis 3 m auf 25 m Tiefe bis in den Fels hinuntergebohrt und betoniert. In diesen Pfählen (Bild 12) waren die Anschlusseisen für die dazwischenliegenden Wandelemente eingelegt, so dass die Zwischenstücke nach der Unterfangungsmethode sukzessive in Höhen von

rund 2 m nach Massgabe des Baugrubenaushubes von oben nach unten eingebracht werden konnten. Bei der Fundation dieses Gebäudes wird diese Wand auf ihrer ganzen Höhe als äussere Wanne für die Aufnahme der Grundwasserisolation verwendet. In ihrem oberen Teil, über dem Grundwasserspiegel, hätte sie zwar als Aussenmauer für die Untergeschosse in die definitive Konstruktion einbezogen werden können. Im Hinblick auf den Einbau der Telephonzentralen, die absolute Trockenheit der Räume erfordern, war dies aber nicht möglich.

Die Ausführung grossflächiger und tiefer Baugruben wurde durch die Erfindung der Kies- und Felsanker wesentlich erleichtert. Dieses praktische Hilfsmittel gestattet, diese ohne irgendwelche innere Spriessungen auszuführen. Das Wegfallen der die Spriessungen berücksichtigenden Ausführung in kleinen Etappen und der zeitraubenden Umspriessungen hat eine wesentliche Verkürzung der Bauzeiten zur Folge.

Die Frage des Einbezuges von Baugrubenumschliessungen in das endgültige Bauwerk spielt bei der Kostenermittlung der grossen bevorstehenden Arbeiten für unterirdische Verkehrswege eine wichtige Rolle. Ob man, wie in Zürich vorgeschlagen, eine Untergrundbahn erstellt, oder, wie in Basel, eine Tiefbahn mit untergrundbahnähnlichem Charakter als erste Phase vorsieht, spielt für den Bauvorgang nur eine untergeordnete Rolle. Im Hinblick auf die grossen Baukosten, die mit der Erstellung derartiger unterirdischer Verkehrsanlagen verbunden sind, müssen die verschiedenen Baumethoden sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Entscheidet man sich für die Erstellung der einzelnen Bauwerke in offener Baugrube, so hat man alles Interesse daran, Baumethoden zu finden, bei denen nach Möglichkeit die Baugrubenumschliessung als Teil des Bauwerkes verwendet werden kann. Dies ermöglicht eine Reduktion des Ausmasses der Baugruben und eine Einsparung an Baumaterialien. Trotz dieser Einsparung muss aber in jedem Fall sorgfältig abgeklärt werden, ob der Einbezug sinnvoll ist und auch Garantie dafür bietet, dass ein Bauwerk

von der gewünschten Qualität erstellt wird. Für die Tiefbahn in Basel sehe ich deshalb in denjenigen Abschnitten, die in offener Baugrube erstellt werden, und speziell bei den Stationen in erster Linie die Anwendung der verschiedenen Betonumwandungen der Baugrube. Dabei hat sich auf Grund meiner bisherigen Erfahrungen die Anwendung der Unterfangungsmethoden und der kombinierten Bohrpfahlwandelementmethoden am besten bewährt. Diese sind gegenüber den eigentlichen Schlitzwänden deshalb im Vorteil, weil im Untergrund von Basel häufig verkittete Nagelfluhlinsen in den Kiesalluvionen in unregelmässiger Lage anzutreffen sind und über dem Felsuntergrund des Blauen Letten Sandknauer von ausserordentlicher Härte das Abteufen der Schlitzwände erschweren und verteuern.

3. Kosten für Baugrubenumschliessungen

Bei der Ausschreibung der Baugrubenumwandung für die Telephondirektion an der Wallstrasse in Basel haben sich folgende Kosten pro Quadratmeter für die verschiedenen Systeme inkl. Rückverankerung mittels Kiesankern ergeben:

Schlitzwand	670.— Fr./m ²
Unterfangungsmethode einschl.	
Injektionsschirm	455.— Fr./m ²
Aufgelöste Bohrpfahlwand	
(Abrechnungspreis)	450.— Fr./m ²

Bei der Baugrube für die unterirdischen Autoeinstellhallen beim Heuwaageviadukt wurden folgende Preise offeriert, bei welchen zu berücksichtigen ist, dass die einzelnen Firmen zum mindesten die Erfahrungen beim Bau der Baugrubenumschliessung für den Neubau der Telephondirektion an der Wallstrasse auswerten konnten:

Schlitzwand	450.— Fr./m ²
Unterfangungsmethode	220.— Fr./m ²
Aufgelöste Bohrpfahlwand	390.— Fr./m ²

Leider sind bei diesen neuesten grossen Bauvorhaben in Basel keine reinen Bohrpfahlwände offeriert worden. Ich habe auf Grund von unverbindlichen Kostangaben der Firma Heinr. Hatt-Haller AG in Zürich, die das bekannte System Benoto vertritt, einen Preis von 500 bis 600 Fr. je m² für Basel errechnet.

Bild 11. Neubau der TT-Direktion an der Wallstrasse in Basel: Aufgelöste Pfahlwand

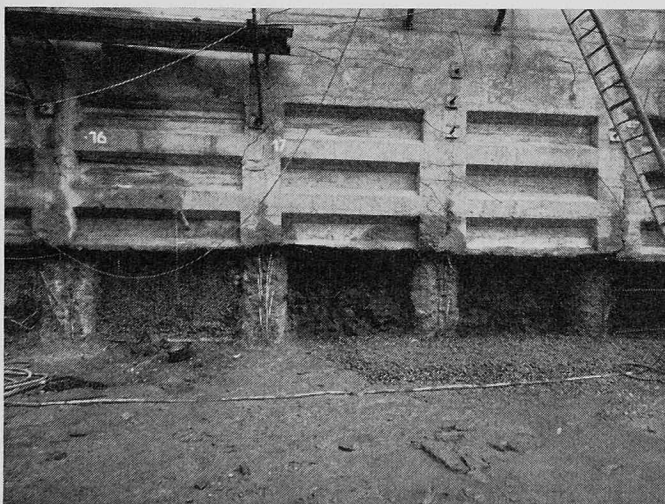
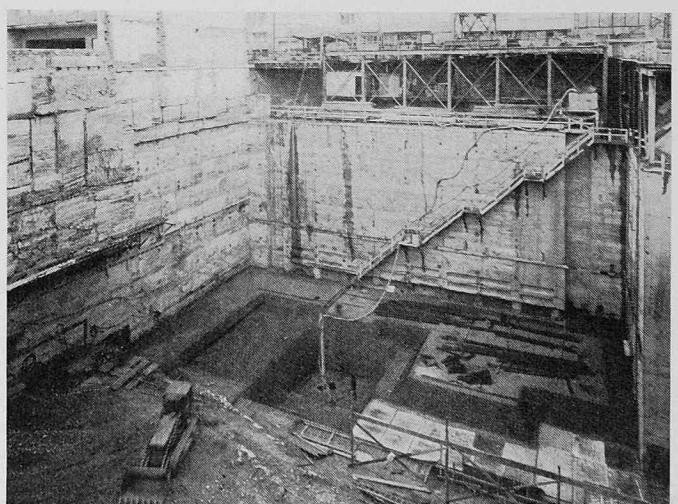


Bild 13. Neubau der TT-Direktion an der Wallstrasse in Basel: Baugrubenumschliessung mit einer aufgelösten Pfahlwand



Die obigen Preise beziehen sich nur auf die Verhältnisse in Basel. Da diese Kosten sehr stark vom Baugrund abhängen, sind an anderen Orten bei andersartigen geologischen Verhältnissen nicht nur andere Einheitspreise, sondern unter Umständen auch eine andere Kostenrangfolge zu erwarten.

4. Schlussfolgerungen

Mit den neuartigen Methoden der Baugrubenumschliessung hat der Bauingenieur Hilfsmittel in die Hand bekommen, die ihm häufig ermöglichen, die Baugrubenumschliessungen in einwandfreier

Weise in das Bauwerk einzubeziehen. Überall dort, wo die Voraussetzungen für eine derartige Kombination gegeben sind, soll sorgfältig untersucht werden, ob sie möglich ist. Die tiefen Baugruben und die Baugrubenumschliessungen bürden den damit betrauten Ingenieuren grosse Verantwortungen auf. Es ist deshalb unumgänglich, dass vor Beginn derartiger Arbeiten sorgfältige Sondierungen die genaue Definition der geologischen Verhältnisse ermöglichen und die Baugrubenumschliessung unter Berücksichtigung umfassender Kenntnisse und Erfahrungen der Bodenmechanik

projektiert werden. Baugruben, wie sie durch die Erstellung von unterirdischen Verkehrsanlagen im Zentrum unserer Städte notwendig geworden sind, gefährden die Umgebung in grossem Umfange. Es muss deshalb bei der Vorbereitung derartiger Arbeiten mit grosser Vorsicht und absoluter Zuverlässigkeit abgeklärt werden können, auf welche Weise es möglich ist, das Risiko auf ein absolutes Minimum zu beschränken.

Adresse des Verfassers: Georg Gruner, dipl. Ing., 4002 Basel, Nauenstrasse 7.

Erschütterungsprobleme bei Tiefbauarbeiten in überbauten Gebieten

DK 624.131.385

Von Prof. A. Süssstrunk, dipl. Phys., Baden

1. Erschütterungsquellen

Die wesentlichen Erschütterungsquellen beim Tiefbau sind:

- Sprengungen (Stollenvortrieb, Grabenaushub, Sprengungen in Schächten und Bohrungen, Abbruch von Bauwerken mittels Sprengungen);
- Rammen oder Einvibrieren von Spundwänden, Rühlwänden, Pfählen;
- Betrieb schwerer Baumaschinen (Steinbrechanlagen, Verdichtungsgeräte, Bagger, Scraper usw.).

2. Auslösung und Ausbreitung der Erschütterungen

Beim Sprengen, Rammen und Einvibrieren werden über den Zerstörungsbereich hinaus kurzzeitige elastische Verformungen erzeugt, welche auf die Umgebung übertragen werden (bei den erwähnten Baumaschinen sind es die freien Kräfte, welche den Boden periodisch verformen). Die Ausbreitung der Deformation erfolgt mit der Schallgeschwindigkeit im betreffenden Material, d. h. es bildet sich eine elastische Welle aus, wie eine Knallwelle oder ein dauernd ausgestrahlter Ton in der Luft. In festen Körpern treten je nach Uebertragung durch Druck-, Zug- oder Scherbeanspruchung verschiedene Wellentypen auf, welche sich in Ausbreitungsgeschwindigkeit, Frequenz der Vibrationen, Dämpfung und räumlicher Ausbreitung unterscheiden. Das Schwingungsbild der sich ausbreitenden Deformation

entsteht durch Ueberlagerung verschiedener Wellentypen und ändert sich deshalb mit der Distanz von der Quelle.

3. Messung der Erschütterungen, subjektive Wahrnehmung

Mit nach dem Seismographenprinzip gebauten Geräten kann der zeitliche Ablauf der Bewegung eines Beobachtungspunktes beim Durchlaufen der elastischen Deformation erfasst und sichtbar gemacht werden. Man verwendet heute vorwiegend elektrodynamische Seismometer, welche eine elektrische Spannung proportional zur momentanen Bewegungsgeschwindigkeit des Standortes abgeben, d. h. proportional zur zeitlichen Änderung des Schwingungsweges. Diese Wechselspannungen werden elektronisch verstärkt und durch ein Registriergerät aufgezeichnet (Bild 1).

Sollen Erschütterungen objektiv beurteilt werden können, sind Messungen unumgänglich. Die Messgeräte (Seismometer, Verstärker, allfällige weitere Schaltelemente, Registriergerät) sollten den gesamten Frequenzbereich der zu erfassenden Erschütterungen verarbeiten können.

Eine grobe Abschätzung der Erschütterungsstärke bzw. der Momentangeschwindigkeit der Bewegung eines Punktes beim Durchgang der Erschütterung ist möglich anhand der Wahrnehmungen von Personen, welche den Schwingungen ausgesetzt sind. Die Empfindung des Menschen ist für den Frequenzbereich von etwa 10 bis 100 Hz ungefähr proportional zur Momen-

tangeschwindigkeit der Erschütterung (ich bezeichne letztere im weiteren als *Intensität* der Erschütterung [1]):

Intensität	Empfindung
0,2 bis rd. 0,5 mm/s	gerade spürbar
0,5 bis rd. 1 mm/s	gut spürbar
1 bis rd. 5 mm/s	stark
über rd. 5 mm/s	unangenehm stark

Diese Grenzwerte gelten für andauernde Vibrationen; Werte bis rd. 2 mm/s gelten noch als zumutbar. Gegenüber kurzzeitigen Erschütterungen, wie sie etwa bei Sprengungen auftreten, ist der Mensch im allgemeinen weniger empfindlich.

4. Beurteilung der Schädlichkeit der Einwirkung von Erschütterungen auf Bauwerke

Die Reaktion der Bauten hängt ab von der Stabilität des Untergrundes, der Fundationsart, der Steifigkeit der Fundamentmauern, der Schwingfähigkeit der Bauelemente, der Bauweise und vom Bauzustand. Unter Schädlichkeit ist zunächst nicht eine Reduktion der Festigkeit des Baumaterials oder der Beginn einer Zerstörung zu verstehen, sondern es handelt sich um die Frage nach dem Erschütterungsmass, bei welchem *erste geringe Schäden*, wie Feinrisse in Verputz und Gipsteilen usw. zu erwarten sind.

Welche Eigenschaften eines Erschütterungstosses oder einer stationären Schwingung sind für die Schädlichkeit massgebend? Man ist rein empirisch zur Auffassung gelangt, dass für diese Schäd-

Bild 1. Ausrüstung für Erschütterungsmessungen. a) bis d) verschiedene Typen elektrodynamischer Seismometer

- a) Willmore/Hilger-Watts, Eigenfrequenz 1 Hertz, auch horizontal verwendbar
- b) Hall-Sears, 4,5 Hertz, zu Drei-Komponenten-Einheit zusammengebaut
- c) und d) Philips PR 9260, 12 Hertz
- e) Registriergerät mit Verstärkern Philips «Oscilloscript» PT 2104 (Vier-Kanal-Direktschreiber)

